

尾瀬国立公園のシーケンス景観に対する複数の定量指標による比較分析

Comparison analysis for sequential landscape of Oze national park by using multiple quantitative indexes

國井 洋一*

Yoichi KUNII

Abstract: The image sequences from a person walking through a natural park, which is a protected area that includes natural, semi-natural, and humanized landscapes that are of natural interest, representing the integration of human activity with nature, and multiple quantitative analyses was used to create a sequential landscape for this paper. There are some quantitative analyses in image processing and remote sensing field, and this paper investigates to apply the analyses for sequential landscape. Fractal dimension, diversity and contagion were adopted as quantitative index for the sequential landscape in this paper. Moreover, GPS positioning was also recorded during the walks, and the distance from the start point and the altitude were recorded. Such processing was conducted in 3 times (summer of 2009, 2013 and 2015), and the landscapes from these three instances were compared. As a result, the complexity of the landscape for certain objects and overall could be expressed by using two kinds of fractal analysis. In particular, the differences between these two landscapes or for each position could be quantitatively determined. Therefore, a quantitative analysis of the sequential landscape in Oze National Park was conducted. Consequently, the changing landscape in Oze National Park could be quantitatively expressed.

Keywords: sequential landscape, Oze national park, quantitative indexes, fractal dimension, diversity, contagion

キーワード: シークエンス景観, 尾瀬国立公園, 定量指標, フラクタル次元, 多様度, 蔓延度

1. はじめに

国立公園や国定公園などの自然公園における来訪者は、散策中の風景の移り変わりを楽しむことを目的の一つとしていることが多いといえる。そのような移動中の風景はシーケンス景観として捉えられ、そのシーケンス景観を分析することが自然公園の価値を見出すことにもつながると考えられる。シーケンス景観の分析には、景観を連続的に記録することのできる動画像が用いられる事例が多く存在する。例えば、景観特性の考察¹⁾や、農村地域における景観評価構造の検討²⁾においては、シーン分類や景観評価実験の材料として動画像が用いられているが、動画像として記録されたシーケンス景観を自律的に解析する方法としては、画像処理技術が用いられている。景観解析手法としてもっとも一般的な画像処理技術は、撮影対象物の複雑さを算出するフラクタル解析である。フラクタル解析は、景観画像を画像処理のみで客観的に定量化できることが大きな特徴であり、走行中の自動車における車窓景観³⁾や、自然公園における歩行景観⁴⁾に対しても解析を実施した事例がある。また、フラクタル解析によって得られたシーケンス景観に対する定量指標と人の主観評価とを比較調査した研究⁵⁾により、景観に対するフラクタル次元と人の印象との間における関連性が示唆されている。一方で、画像処理による他の景観解析として、多様度 (diversity) や蔓延度 (contagion) といった指標があり⁶⁾、主に景観生態学の分野においてリモートセンシング画像に対する解析に用いられている⁷⁾。これらの指標がこれまでにシーケンス景観に対して応用された例は無いため、有用性を確認することができれば、フラクタル次元と共に分析手法としての確立も望めると考えられる。

そこで、本研究では代表的な自然公園として尾瀬国立公園 (以下、尾瀬) を対象地とし、歩行中に記録したシーケンス景観の動画像に対してフラクタル次元、多様度および蔓延度を求め、それらの指標による景観の定量分析の可能性について検討を行った。

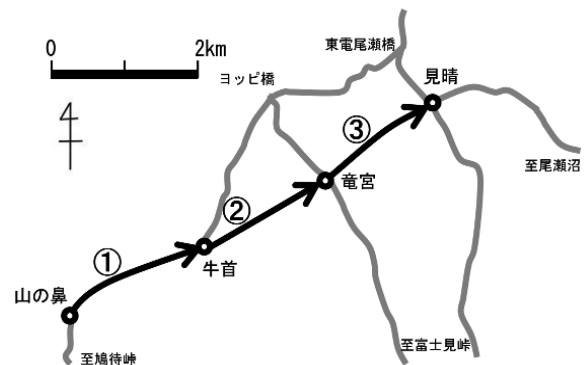


図-1 尾瀬国立公園における調査対象ルート

なお、分析は2009年、2013年、2015年の各年において8月～9月に撮影した動画像を用いて行い、経年による変化についても分析可能性を検討することとした。

2. 調査概要

本研究における調査対象ルートは、図-1に示した通り尾瀬国立公園の尾瀬ヶ原に木道が敷かれている「山の鼻」～「見晴」の約5.5kmとした。このルートは、尾瀬国立公園の中でも勾配が緩く、かつルートの全てが木道で歩きやすいことから来訪者が多い。本研究ではこのルートを歩行しながら、進行方向にカメラを向け、動画撮影およびGPS測位による位置情報の取得を行った。

また、対象としたルートを景観変化の特徴が異なる3区間に分け、区間毎に動画像解析を実施した。具体的には、森林地帯からスタートする区間1 (山の鼻～牛首)、大湿原の中に池塘が出現する区間2 (牛首～竜宮)、最初に沼尻橋を渡った後、中盤に規模の大きい抛水林が出現する区間3 (竜宮～見晴) の3区間である。

*東京農業大学地域環境科学部造園科学科

表-1 尾瀬国立公園における調査概要

2009年	調査日	2009/08/12
	調査時間	9:00~11:00
	天候	晴れ
	撮影機材	GZ-HM200 (Victor)
	GPS 機材	GIR1600 (Sokkia)
2013年	調査日	2013/08/27
	調査時間	9:00~11:00
	天候	曇り
	撮影機材	iPad mini (Apple)
2015年	調査日	2015/09/04
	調査時間	9:00~12:00
	天候	曇り
	撮影機材	iPad mini3 (Apple)
	GPS 機材	

さらに、2009年から2015年の間におけるこのルートおよびその周辺では、木道の経年劣化による掛け替えは定期的に行われているものの、ルート的大幅な改変や修正、土地改良等は行われていない。すなわち、本調査は人為的な事由による景観変化が起きる可能性の低い対象地にて実施したものである。

表-1 に調査概要を示した。なお、各年において異なる撮影機材を用いているが、ビデオカメラと iPad mini では動画像による景観観測に差異や支障は無いことが既往研究によって示されている⁴⁾。また、iPad mini と iPad mini 3 におけるカメラの基本性能は共通であることが、Apple 社から公表されている。

3. 動画像に対する画像処理

(1) フレーム画像抽出および位置情報の取得

本研究ではまず撮影した動画像から1秒毎のフレーム画像を抽出し、連続的な静止画像として保存した。つぎに、抽出した各フレーム画像の撮影時刻から GPS 測位情報をマッチングさせ、各フレーム画像が撮影された位置情報の取得を行った。なお、GPS 測位の頻度は受信機のスペック上 2~3 秒に1回であるため、測位が行われた時刻と同期がとれるフレーム画像のみを抽出した。

以上の処理により抽出されたフレーム画像に対して、後述する各画像処理を実施することにより定量指標の算出を行った。なお、本研究で採用した画像処理手法の多くは、画像内に含まれている要素に着目して実施するものである。そのため、ここでは木道、草本、葉、幹、枝といった景観構成要素に対し、それらを緑色の要素と茶色の要素に分類した。さらに、各フレーム画像を構成している RGB 値より、それぞれの緑要素と茶要素の2種類をそれぞれ抽出し、抽出した要素を黒色、背景を白色とする2値画像を作成し、フラクタル次元、多様度、蔓延度の算出に用いることとした。なお、色要素の抽出には、各区間の動画像に写し込まれている緑および茶の構成要素の RGB 値をそれぞれサンプリングし、サンプリングした RGB 値に対し±50を許容値として設定した。図-2 に任意のフレーム画像に対してグレースケール化、緑要素抽出、茶要素抽出を行い、さらにフラクタル次元、多様度、蔓延度をそれぞれ算出した例を示した。

(2) フラクタル解析によるフラクタル次元の算出

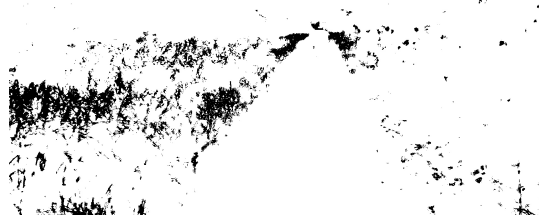
フラクタル次元は対象要素に対する複雑さを定量的に表現する概念であり、フラクタル次元を算出するための解析手法がフラクタル解析である。すなわち、フラクタル解析は撮影した景観に対する複雑さを求めるための画像解析手法である。本研究におけるフラクタル解析には、特定の要素に対して処理を行うボックスカ



(a) グレースケール
(フラクタル次元: 2.271)



(b) 緑抽出
(フラクタル次元: 1.899 多様度: 0.627 蔓延度: 0.619)



(c) 茶抽出
(フラクタル次元: 1.498 多様度: 0.192 蔓延度: 0.480)

図-2 フレーム画像に対する各定量指標の算出例

ウンティング法と、グレースケール画像を利用するグレースケール法の2種類を用いた⁴⁾。

ボックスカウンティング法は、画像中において着目する対象要素を2値化によって抽出した後に処理を施す手法であり、特定の対象要素に対するフラクタル次元を得ることができる。そのため、前述のとおり作成した緑要素および茶要素に対する2値画像を用いて処理を行った。一方、グレースケール法は、グレースケール化された画像に対して直接処理を施す手法である。すなわち、グレースケール法では特定の対象要素に特化せず、画像全体に対するフラクタル次元が得られる。そのため、画像内の景観全体に対する複雑さが示されることとなる。なお、グレースケール法で得られるフラクタル次元は1~3の実数で表される。

(3) 多様度の算出

多様度は、景観内において対象要素がどの程度均一に存在しているかを示す指標である⁶⁾。多様度もボックスカウンティング法によるフラクタル次元と同様に、対象要素を2値化によって抽出した後に算出される指標である。具体的には、画像を一定のグリッドによって分割し、各グリッドに対象要素が含まれるか否かを

カウントすることにより算出される。多様度 H の算出式は以下の通りである⁸⁾。

$$H = -\sum_{k=1}^m (p_k) \ln(p_k) \quad (1)$$

ここに、

m : 対象要素数 (本研究では2)

p_k : 画像内の総グリッド数に対する対象グリッドの割合

上式より、多様度の値の範囲は $0 \sim \ln 2 (=0.693)$ の実数となることが確認でき、画像内の全グリッドのうち半分に対象要素が含まれていると判別された際に最大値を示すこととなる。なお、本研究においてはグリッド内における 50%以上の画素が対象要素である場合を、対象要素が含まれているグリッドとして判別することとした。

(4) 蔓延度の算出

蔓延度は、景観内において対象要素がどの程度集中しているかを示す指標であり⁹⁾、多様度等と同様に対象要素の2値化抽出を施してから算出する。蔓延度の算出においても、多様度と同様に画像を一定のグリッドに分割することになる。しかしながら、蔓延度は着目するグリッドだけでなく、周辺のグリッドにおける対象要素の有無についても判別が必要となる。また、蔓延度については正規化指標として提案されている $RC2$ を採用することとした。 $RC2$ の算出式は以下の通りである⁸⁾。

$$RC2 = 1 + \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (Q_{ij}) \ln(Q_{ij})}{2 \ln(m)} \quad (2)$$

ここに、

m : 対象要素数 (本研究では2)

Q_{ij} : 要素 i のグリッドが要素 j のグリッドに隣接している割合

$RC2$ については正規化されているため、値の範囲が $0 \sim 1$ の実数となることが確認でき、対象要素が集中して存在するほど1に近い値となる。 $RC2$ の算出においても、グリッド内における対象要素画素のしきい値を50%として設定した。

4. 検証結果

以上の解析によって得られた各フレーム画像に対する各定量指標のデータと、同期が得られたGPS測位データを合わせ、調査ルートにおけるシーケンス景観の分析を実施した。図-3~5に山の鼻からの累積歩行距離と標高および各定量指標との関係を示した。さらに、表-2には各定量指標に対する相関行列を示した。以下、それぞれの結果を述べる。

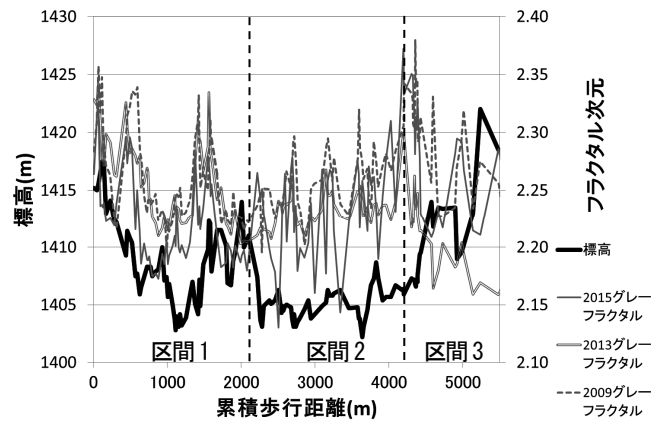
(1) フラクタル次元

グレースケールフラクタル次元に着目すると、歩行距離に対する値は各年共に類似した変動になっていることが見受けられる。相関係数においても、各年間共に正の有意な相関が確認されている。このことから、尾瀬の景観に対する経年による全般的な複雑さの変化は少ないことが推察される。

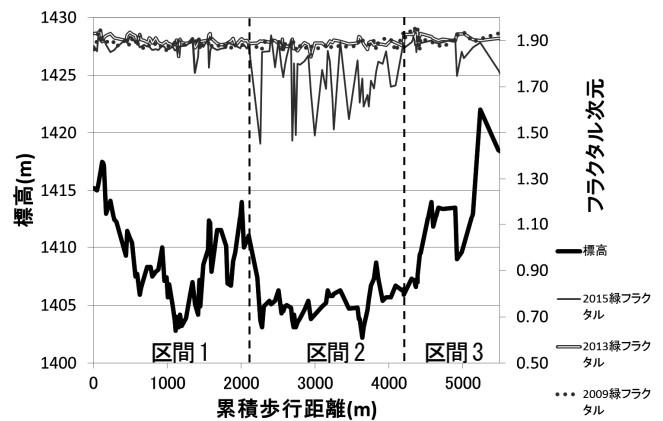
緑フラクタル次元は各年共に変動が小さい傾向がある。これは調査時期が8月から9月上旬であり、植生の大半が緑色の時期であるため、図-6に例示したとおり特に大湿原においては複雑さの観点においても変化が少ないことが考えられる。そのため、3時期の中で唯一9月に調査を行った2015年に関しては、特に区

間2における池塘の周辺において茶色がかっている植生が多く見受けられたため、比較的変動が大きくなる結果となった。相関係数に着目すると、各年間共に正の有意な相関が見られるため、緑による複雑さの変化は少ないことが確認される。

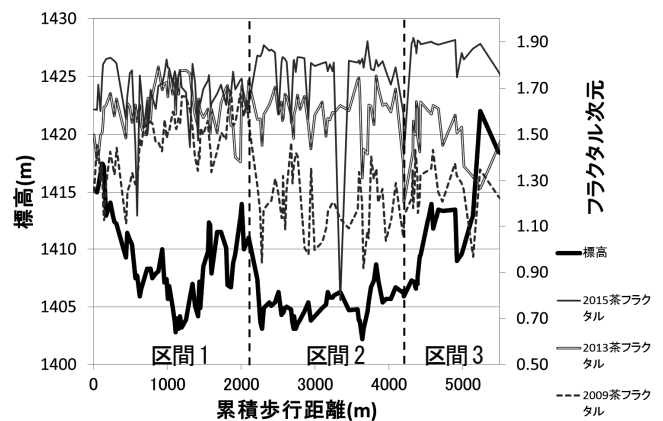
茶フラクタル次元は各年共に変動が大きくなる結果となった。これは夏季においては茶色の植生の存在がまばらであることが、複雑さの上下動に影響したものと考えられる。また、相関係数に着目すると、2009年と2013年との間には相関が見られるが、2015年については茶色の植生が比較的多い影響で、他の各年とは有意な相関が無い結果となった。



(a) グレースケールフラクタル次元

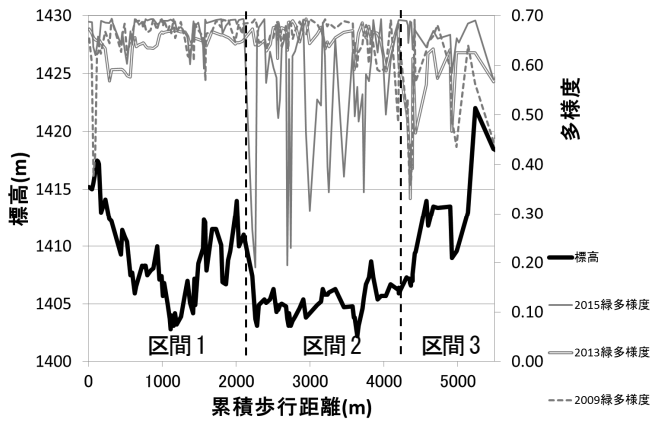


(b) 緑フラクタル次元

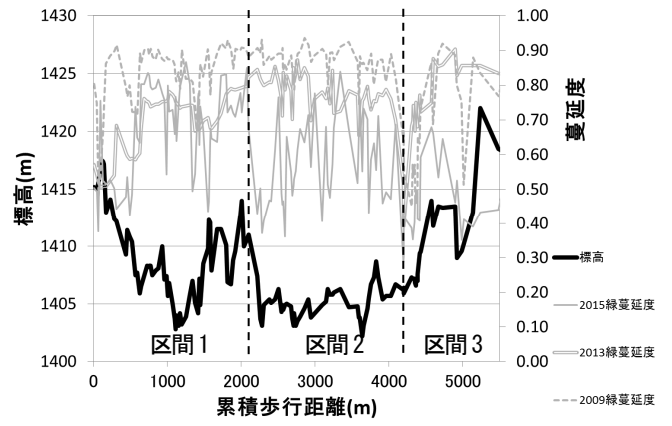


(c) 茶フラクタル次元

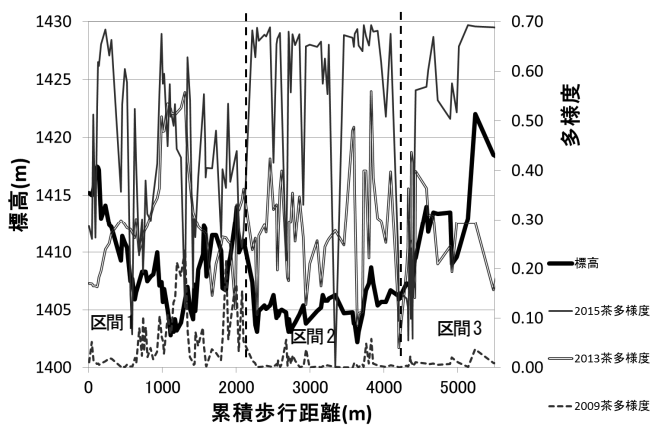
図-3 歩行距離、標高とフラクタル次元との関係



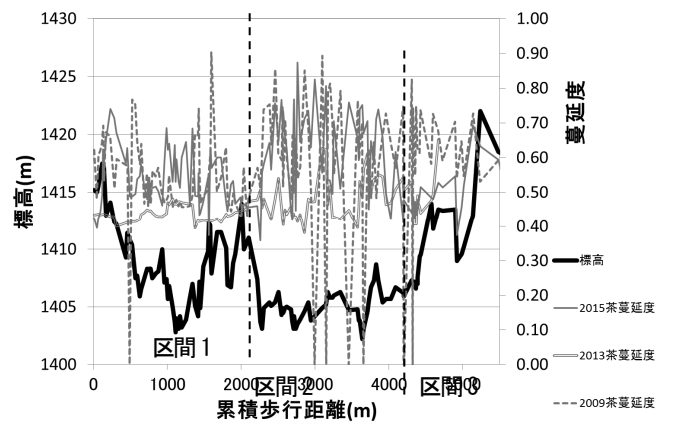
(a) 緑多様度



(a) 緑蔓延度



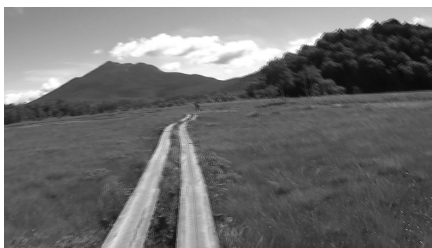
(b) 茶多様度



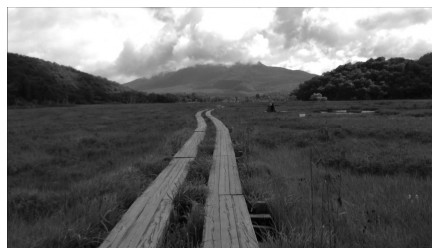
(b) 茶蔓延度

図-4 歩行距離、標高と多様度との関係

図-5 歩行距離、標高と蔓延度との関係



(a) 2009年



(b) 2013年



(c) 2015年

図-6 区間1の同位置における各年の撮影画像

(2) 多様度

緑多様度は、2015年においては緑フラクタル次元とほぼ同様の傾向で、区間2で変動が大きくなる。相関係数を見ても、同年における緑フラクタル次元と緑多様度との間には強い正の相関が確認できる。その一方で、2009年と2013年の両指標の間においては逆に負の相関が見られる。

茶多様度については2009年、2013年、2015年の順で変動が大きくなっていることが確認できた。これは、各年における調査時期がそれぞれ半月ずつ程度ずれていることが要因であると考えられる。すなわち、8月上旬に調査した2009年においては植生にほとんど茶要素が含まれていないが、9月上旬に調査した2015

年では図-7に示したとおり茶要素が増加していた。そのため、増加した茶色が均一的に検出された画像においては多様度が高い値で示されているものと考えられる。

(3) 蔓延度

緑蔓延度に注目すると、前述の茶の多様度と同様に年毎に順に変動が大きくなっている。また、緑フラクタル次元との相関に着目すると、2009年と2013年においては強い負の相関が確認できるが、2015年においては一転して無相関となる。

一方、茶の蔓延度については逆の傾向があり、2009年の変動がもっとも大きい。また、2015年の茶蔓延度は全般的に高い値で推移している。これらについても、調査時期の違いによる季節変動

を表している結果であると推測され 2015 年は図-7 に示したとおり茶要素が集中的に存在している地点が増えているものと予測される。

5. 考察

本研究においては対象地を 3 つの区間に分けて各分析を実施したが、特に区間 2 において特徴的な結果が得られたと言える。区間 2 は、図-8 に示したとおり主に池塘の周辺において各年の景観に差異が見られた区間であり、特に 2015 年は茶色に色づいた植生が各定量指標に影響を及ぼす結果となった。具体的には、複雑さを表すフラクタル次元と均一性を表す多様度に関してはそれぞれ秋に近づくにつれて変化が大きくなり、景観の集中具合を表す蔓延度については、緑については大きく、茶については小さくなっていく傾向が見られた。

さらに、前述のとおり、2015 年の緑フラクタル次元と緑多様度には強い正の相関が確認できる。一方で、2009 年と 2013 年の両年における同指標間では、いずれも強い負の相関となっている。多様度は均一性を表す指標であるため、緑の量が多い場合に高い値となるが、フラクタル次元は複雑性を表すため、景観内に緑が散見される場合に高い値となる。すなわち、両指標は真逆の意味合いを持つものであるため、通常は負の相関となることが推測される。しかしながら、2015 年は 9 月上旬という時期であったため景観内に茶要素が散見され、結果として緑要素が全般的に減少し、多様度およびフラクタル次元共に低い値となって正の相関につながったものと考えられる。

茶要素に着目すると 8 月に調査した 2013 年と 2009 年は全般的に要素が少なく、9 月に調査した 2015 年は比較的多い。そのため、特に蔓延度については 2013 年と 2009 年に関しては他の要素との相関が弱い傾向があるが、2015 年に関しては特に他の緑要素に対する指標との強い負の相関が見受けられる。このように、ある程度要素が出現することにより、各指標間での比較も可能になることが確認できたといえる。

6. まとめ

本研究では歩行中に記録した 3 時期のシークエンス景観の動画像に対してフラクタル次元、多様度および蔓延度を求め、それらの指標による景観の定量分析の可能性について検討を行った。その結果、本研究で用いた指標は元来リモートセンシング画像に対して用いられているものであったが、自然公園のシークエンス景観においても特徴を定量的に示すことができる可能性を示唆できたと考えられる。

本研究においては比較的一様な景観が長く続く尾瀬を対象地としたが、今後は山林などの景観の移り変わりが激しい地域においても応用性の検証が必要であると考えられる。さらに、経年によるサンプル数の増加や、他のルートによる検証、また活用の幅を広げるためには人の主観による評価との比較検討についても検証が必要であると考えられる。

謝辞：本研究は科学研究費補助金 (No.25870765) の助成を受けて実施したものである。

参考文献

- 1) 柳田健太, 小野良平, 伊藤弘, 下村彰男 (2004) : 都市近郊鉄道における車窓からの景観の特性に関する研究 : ランドスケープ研究 67 (5), 643-646
- 2) 内海志泉, 浅川昭一郎, 愛甲哲也 (2000) : 北海道美瑛町の農村地域におけるシークエンス景観の評価 : ランドスケープ研究 63 (5), 783-788

表-2 各年における定量指標の相関行列

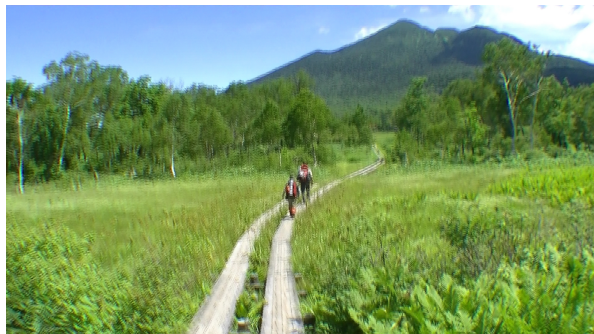
(n=143, F はフラクタル次元の略)

年	定量指標	2015						
		グレーF	緑F	緑多様度	緑蔓延度	茶F	茶多様度	茶蔓延度
2015	グレーF	1.000						
	緑F	-0.020 (ns)	1.000					
	緑多様度	-0.095 (ns)	0.911 **	1.000				
	緑蔓延度	-0.776 **	0.045 (ns)	0.170 *	1.000			
	茶F	0.177 *	-0.194 *	-0.184 *	-0.403 **	1.000		
	茶多様度	-0.164 *	-0.444 **	-0.370 **	-0.205 *	0.586 **	1.000	
	茶蔓延度	-0.438 **	-0.221 **	-0.106 (ns)	0.117 (ns)	0.207 *	0.534 **	1.000
2013	グレーF	0.194 *	0.166 *	0.114 (ns)	-0.033 (ns)	-0.342 **	-0.294 **	-0.051
	緑F	0.416 **	0.279 **	0.211 *	-0.278 **	0.039 (ns)	-0.266 **	-0.364 **
	緑多様度	-0.495 **	-0.192 (ns)	-0.114 (ns)	0.333 **	-0.235 **	0.280 **	0.351 **
	緑蔓延度	-0.300 **	-0.266 **	-0.211 *	0.113 (ns)	0.320 **	0.342 **	0.126 (ns)
	茶F	-0.498 **	0.022 (ns)	0.040 (ns)	0.447 **	-0.008 (ns)	0.131 (ns)	0.218 **
	茶多様度	-0.348 **	0.134 (ns)	0.167 *	0.332 **	0.062 (ns)	0.064 (ns)	0.170 *
	茶蔓延度	0.034 (ns)	-0.261 **	-0.187 *	-0.055 (ns)	0.185 *	0.223 **	0.142 (ns)
2009	グレーF	0.569 **	0.113 (ns)	0.030 (ns)	-0.365 **	-0.009 (ns)	-0.303 **	-0.217 **
	緑F	0.626 **	0.205 *	0.141 (ns)	-0.438 **	0.126 (ns)	-0.293 **	-0.328 **
	緑多様度	-0.645 **	-0.126 (ns)	-0.081 (ns)	0.476 **	-0.195 *	0.228 **	0.349 **
	緑蔓延度	-0.629 **	-0.262 **	-0.179 *	0.403 **	-0.076 (ns)	0.423 **	0.356 **
	茶F	-0.387 **	0.343 **	0.354 **	0.528 **	-0.163 (ns)	-0.269 **	-0.171 *
	茶多様度	-0.362 **	0.224 **	0.251 **	0.482 **	-0.181 *	-0.193 *	-0.084 (ns)
	茶蔓延度	0.330 **	-0.031 (ns)	-0.070 (ns)	-0.397 **	0.079 (ns)	0.049 (ns)	0.047 (ns)

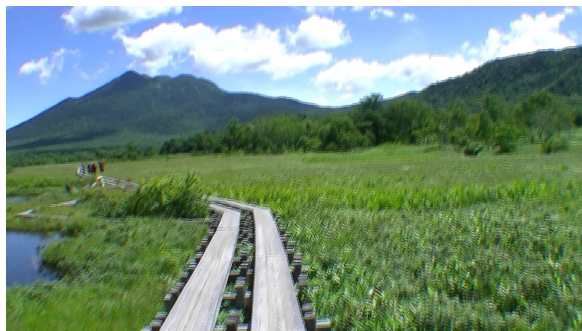
年	定量指標	2013						
		グレーF	緑F	緑多様度	緑蔓延度	茶F	茶多様度	茶蔓延度
2013	グレーF	1.000						
	緑F	0.165 *	1.000					
	緑多様度	0.153 (ns)	-0.667 **	1.000				
	緑蔓延度	-0.800 **	-0.370 **	0.064 (ns)	1.000			
	茶F	-0.061 (ns)	-0.209 *	0.220 **	0.163 (ns)	1.000		
	茶多様度	-0.144 (ns)	-0.148 (ns)	0.092 (ns)	0.223 **	0.749 **	1.000	
	茶蔓延度	-0.273 **	-0.216 **	0.167 *	0.180 *	-0.109 (ns)	-0.029 (ns)	1.000
2009	グレーF	0.471 **	0.443 **	-0.411 **	-0.528	-0.334 **	-0.205 *	-0.080 (ns)
	緑F	0.000 (ns)	0.493 **	-0.603 **	-0.182 *	-0.393 **	-0.187 *	-0.020 (ns)
	緑多様度	0.057 (ns)	-0.525 **	0.659 **	0.101 (ns)	0.412 **	0.223 **	0.030 (ns)
	緑蔓延度	-0.239 **	-0.495 **	0.564 **	0.410 **	0.382 **	0.141 (ns)	0.088 (ns)
	茶F	0.063 (ns)	-0.026 (ns)	0.146 (ns)	-0.001 (ns)	0.387 **	0.430 **	-0.329 **
	茶多様度	-0.106 (ns)	-0.155 (ns)	0.222 **	0.096 (ns)	0.284 **	0.412 **	-0.045 (ns)
	茶蔓延度	0.072 (ns)	0.185 *	-0.207 *	-0.065 (ns)	-0.132 (ns)	-0.221 **	0.091 (ns)

年	定量指標	2009						
		グレーF	緑F	緑多様度	緑蔓延度	茶F	茶多様度	茶蔓延度
2009	グレーF	1.000						
	緑F	0.561 **	1.000					
	緑多様度	-0.510 **	-0.930 **	1.000				
	緑蔓延度	-0.825 **	-0.760 **	0.735 **	1.000			
	茶F	-0.163 (ns)	-0.176 *	0.210 *	0.113 (ns)	1.000		
	茶多様度	-0.360 **	-0.219 **	0.236 **	0.223 **	0.719 **	1.000	
	茶蔓延度	0.362 **	0.223 **	-0.205 *	-0.239 **	-0.643 **	-0.646 **	1.000

** p<.01, * p<.05, (ns) not significant



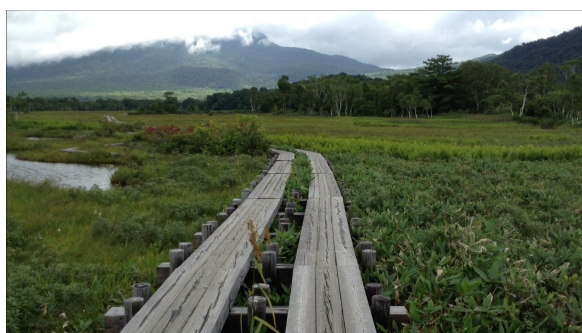
(a) 2009年



(a) 2009年



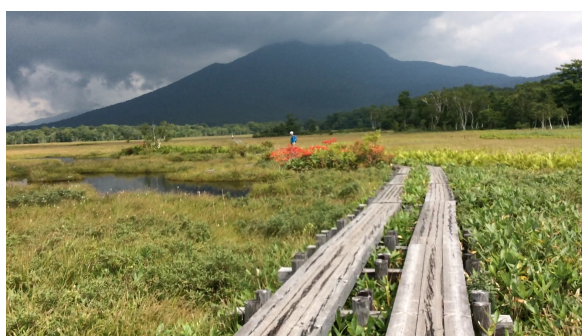
(b) 2015年



(b) 2013年

図-7 茶要素が増加している地点（区間3）

- 3) 石田眞二 (2006) : 北海道における道路のシークエンス景観の定量的評価に関する研究 シーニックバイウェイルートにおける試行 : 都市計画 41 (3) 別冊, 都市計画論文集, 463-468
- 4) 國井洋一 (2014) : シークエンス景観画像のフラクタル解析による尾瀬ヶ原の経年比較 : ランドスケープ研究 77 (5), 511-514
- 5) 國井洋一, 古谷勝則 (2011) : 尾瀬国立公園のシークエンス景観に対する定量指標と主観評価の関連性について : ランドスケープ研究 74 (5), 633-636
- 6) O' Neill, R. V., Krummel, J. R., Gardner, R. H., Sugihara, G., Jackson, B., DeAngelis, D. L., Milne, B. T., Turner, M. G., Zygmunt, B., Christensen, S. W., Dale, V. H. and Graham, R. L. (1988) : Indices of landscape pattern, Landscape Ecology, 1(3), 153-162
- 7) 外村剛久, 宮下清栄 (2014) : 景観生態学手法による中分解能衛星画像を用いた水と緑の景観パターンの相違がエコロジカルネットワークに与える影響—キツツキ科の小型種をキーストーン種とした5都市の比較 : 環境情報科学 学術研究論文集 28, 77-82
- 8) 池上佳志 (1998) : 景観の量的把握(2)—景観パターンの指数の計算例— : 国際景観生態学会日本支部会報 4 (3), 54-58



(c) 2015年

図-8 区間2の池塘付近における各年の撮影画像